

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-300976

(43) 公開日 平成10年(1998)11月13日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
 G 0 2 B 6/293  
 6/28  
 6/32  
 6/34  
 H 0 4 J 14/00

識別記号

F I

G 0 2 B 6/28 B  
 6/32  
 6/34  
 6/28 D  
 T

審査請求 未請求 請求項の数14 O L 外国語出願 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-72998

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月16日

(31) 優先権主張番号 9 7 0 1 7 6 4

(32) 優先日 1997年 2月14日

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 591154119

フォトネティク ソシエテ アノニム  
 PHOTONETICS SOCIETE  
 ANONYME

フランス国, 78160 マルリ ル ロワ,  
 アブニュ ドゥ ルロップ 52

(72) 発明者 フィリップ マルタン

フランス国 78760 ボンシャルトラン  
 クロ プレーズ サンドラル 5

(72) 発明者 ベルナール ラル

フランス国 78450 ヴィルブル アンバ  
 ス ドゥ シャントピ 12

(74) 代理人 弁理士 越場 隆 (外1名)

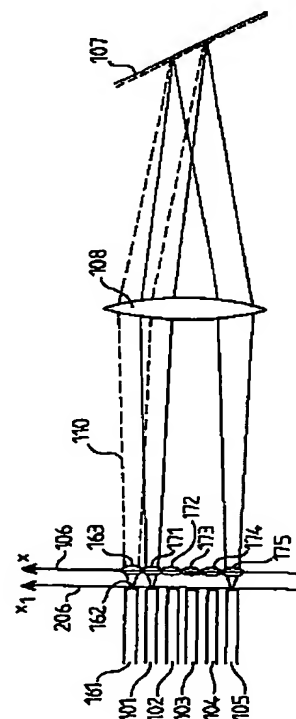
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ波長マルチプレクサおよびデマルチプレクサ

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバ波長マルチプレクサおよびデマルチプレクサ

【解決手段】 本発明は、光ファイバ波長マルチプレクシング又はデマルチプレクシングデバイスに関する。光ファイバ波長マルチプレクシングデバイスは、異なる波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の光ビームを伝搬するように構成された入力ファイバ101~105のアレーと、上記光ビームのセット全体を伝搬するように構成された出力ファイバ161と、端面で入力ファイバ101~105からの光ビームを受けて出力平面で出力ファイバ161用に構成された重畳された光ビームを発生させる分散システム107と、入力平面に配置された収束マイクロレンズ171~175のアレーとを有する。デマルチプレクサは同じ要素を含むが、ファイバおよび入力/出力平面の役割が逆転する。





1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ波長マルチプレクシングデバイスであって：異なる波長( $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_n$ )の光ビームを伝搬するように構成された入力ファイバ(101～105)のアレーと、

上記光ビームのセット全体を伝搬するように構成された出力ファイバ(161)と、

端面で入力ファイバ(101～105)からの光ビームを受けて出力平面で出力ファイバ(161)用に構成された重畳された光ビームを発生させる分散システム(107)と、

入力平面に配置された収束マイクロレンズ(171～175)のアレーとを備え、

各入力ファイバに1つのマイクロレンズが対応しており、マイクロレンズのアレーが入力ファイバーアレーと同じピッチを有し、それぞれコリメーションレンズ(108)に向けられた平行な中心軸を有する発散ビームを発生させ、このコリメーションレンズがコリメートされた平行なビームを発生させて、これらビームの中心軸がそれぞれ分散システム上に収束することを特徴とする光ファイバ波長マルチプレクシングデバイス。

【請求項2】 光ファイバ波長マルチプレクシングデバイスであって：異なる波長( $\lambda_1$ 、…、 $\lambda_n$ )の光ビームを伝搬するように構成された出力ファイバーアレーと、上記光ビームのセット全体を伝搬するように構成された入力ファイバと、

端面で入力ファイバからの光ビームを受けて出力平面で出力ファイバ用に構成されて空間的に分離された光ビームを発生させる分散システムと、

出力平面に配置された収束マイクロレンズアレーとを備え、

各出力ファイバに1つのマイクロレンズが対応し、コリメーションレンズ(108)が、コリメートされた平行なビームであって中心軸がそれぞれ分散システムから発散するビームを受けて、出力ファイバーアレーと同じピッチを有するマイクロレンズアレーに向けられたそれぞれ中心軸が平行な収束ビームを発生させることを特徴とする光ファイバ波長マルチプレクシングデバイス。

【請求項3】 コリメーションレンズ(108)がマイクロレンズアレーおよび分散システムから等距離に配置され、この距離がコリメーションレンズの焦点距離に等しいことを特徴とする請求項1および2のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項4】 分散システムとファイバーアレーとの間に配置された反射プリズム(200)を含むことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項5】 分散システム(107)が回折格子を含むことを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項6】 回折格子(107)をリトロー構造で使用することを特徴とする請求項5に記載のデバイス。

(2)

特開平10-300976

2

【請求項7】 回折格子(107)をリトマン・メトカルフ構造で使用することを特徴とする請求項5に記載のデバイス。

【請求項8】 マイクロレンズアレーとグレーティングとの間に偏光スプリッタ(201)を含むことを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項9】 グレーティング(107)の後に位置する再帰二面反射体を含むことを特徴とする請求項1～8のいずれか一項に記載のデバイス。

10 【請求項10】 光ファイバ(161, 101～105)のコアが約10 $\mu$ m、クラッドが約125 $\mu$ m、および被覆が約250 $\mu$ mであり、さらにレンズ(163, 171～175)の焦点距離が約700 $\mu$ mで直径が約250 $\mu$ mであることを特徴とする請求項1～9のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項11】 レンズ(163, 171～175)のアレーが屈折率勾配レンズを使用することを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載のデバイス。

20 【請求項12】 波長( $\lambda_1$ 、…、 $\lambda_n$ )がエルビウムの増幅範囲、1530nm～1565nmに含まれることを特徴とする請求項1～11のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項13】 各チャンネル上にフィルタを含み、対応する基本透過帯域を平準化することを特徴とする請求項1～12のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項14】 チャンネルの重畳領域に配置されて全ての基本透過帯域を平準化するファブリ・ペローフィルタを含むことを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載のデバイス。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

30 【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ波長マルチプレクサおよびデマルチプレクサに関する。

【0002】

【従来の技術】これらのデバイスは、光ファイバによる電気通信の発達に伴って益々重要になっている。実際、波長マルチプレクシングおよびデマルチプレクシング技術により、同じ光ファイバを介してより大容量の伝達を行うことが可能になる。現在は、直接光増幅の信頼性が高く、各種波長の1組のチャンネルを単一の光増幅装置で増幅することが可能になる。電子増幅器の場合のように各チャンネル波長を別々に増幅するためにチャンネル波長をデマルチプレクシングする必要はない。そのような高密度波長分割マルチプレクシング(D-WDM)は特に、波長1530nm-1565nmの光用のエルビウム添加型ファイバ増幅器(EDFA)に効果的である。

【0003】従来技術によるデバイスの操作を図1および2に示す。図1は、マルチプレクサを示す。入力ファイバ1～5の末端は、マルチプレクサの入力平面を構成する平面6上にある。このマルチプレクサは、分散要素またはグレーティング7、コリメーション素子8、レフレクタシステム9を備え、出力ファイバ61によって集められる

50

出力ビーム10を発生する。マルチプレクサの光学素子、つまりグレーティング7およびコリメーション素子8並びにレフレクタ光学システム9は、入力平面6内では空間的に分離している入力ビームが出力ポイント62で重なり、出力ファイバ61で組み合わせられるように配置される。グレーティングおよびレフレクタのこのような構成は通常、リットマン・メトカルフ(Littman-Metcalf)構造と呼ばれる。

【0004】図2では、各入力ファイバ1〜5の末端が、それらの光学コア11、21、31、41、51、クラッド12、22、32、42、52および被覆13、23、33、43、53と共に示される。このようなシステムでは、入力平面6が、その幾何学的寸法xにおいてマルチプレクサの入力関数F( $\lambda$ )を規定し(図2に概略を示す)、各ファイバが対応する基本透過帯域14、24、34、および54を切り取る。

【0005】各基本帯域の幅 $\Delta\lambda_1, \dots, \Delta\lambda_5$ は、各光ファイバ1〜5のコア11、21、31、41、51に依存し、一般には、各入力ファイバ1〜5によって供給されて出力ファイバ61で重ね合わされるビームの連続する基本帯域の中心波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_5$ 間の距離 $d(\lambda_1, \lambda_2), \dots, d(\lambda_4, \lambda_5)$ に比べて小さい。以下、基本帯域の幅を $\Delta\lambda$ ( $\Delta\lambda_i, \dots, \Delta\lambda_n$ )で表し、連続する2つの基本帯域の中心波長間の距離を $d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ で表す。

【0006】 $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ 比を上昇させるために各種の提案が行われてきた。この $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ 比 $=\alpha/\delta$ であることが判っており、ここで $\alpha$ は伝搬されたモードの直径に相当し、これはファイバのコアの直径にほぼ等しく、 $\delta$ は連続する2つのファイバのコア間の距離である。実際、被覆を除去した場合、この距離 $\delta$ は少なくともクラッドの直径に等しい。

【0007】クラッド12、22、32、42、52の厚さを減少させる方法が提案されており、これによって帯域幅 $\Delta\lambda$ を減少させることなく $\delta$ 、つまり距離 $d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ を減少させることができる。しかしながら、このレイアウトは制御および実施が困難である。

【0008】 $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ 比を上昇させるためにその他いくつかの試みが行われてきた。イギリス国特許出願第2,219,869号には、ファイバの先端を物理的に先細にするか、あるいは拡散によってそれらの末端におけるコアインデックスを変えることによって、光学的フィールドスポットサイズが先細になった導波路を有するマルチプレクサを提供する方法が提案されている。これもまた制御および実施が困難である。

【0009】D.R. Wiselyは、Electronics Letters (1991年3月14日第27巻第6号)に発表された文献の中で、ファイバの末端にマイクロレンズアレーを配置する方法を提案している。そのようなマイクロレンズアレーにより、相対的な帯域幅の比が大きくなり、光ビームが直接回折格子へと導かれる。これらのビームがグレーティング上の共通の領域を照らすようにするためには、マイクロ

レンズはそれぞれ、対応するファイバのコアに対してオフセットして配置されなければならない、このオフセットの大きさはファイバの位置に依存し、これはファイバ末端のピッチよりも小さく且つ慎重に制御されたピッチを有するマイクロレンズアレーを用いて可能である。実際、これには、マイクロレンズアレーがこの特定用途のために製造されたものでなければならない、ファイバ末端のピッチとマイクロレンズアレーのピッチとの間の正確な関係を達成することは容易ではない。

10 【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、光ファイバ波長マルチプレクサ/デマルチプレクサであって、 $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ 比の大幅な向上を示し、製造が容易で且つ入手しやすい標準的な部品を用いて実現可能な光マルチプレクサ/デマルチプレクサを提案することにある。

【0011】本発明のもう一つの目的は、そのようなマルチプレクシング/デマルチプレクシングデバイスを製造することであり、このデバイスでは、各ファイバに対応する基本透過帯域が拡大されて且つ低周波数および高周波数に向かってできるだけ傾斜の急な立ち上がりを示し、さらに伝達される各波長が同じ減衰を受ける。そのような基本伝達関数は、理想的には四角形の形状を有し、透過帯域が正確に規定され、この帯域内での均一な伝達を可能にする。

20 【0012】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は、光ファイバ波長マルチプレクシングデバイスであって：異なる波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光ビームを伝搬するよう構成された入力ファイバのアレーと、上記光ビームのセット全体を伝搬するよう構成された出力ファイバと、入力平面で入力ファイバからの光ビームを受けて出力平面で出力ファイバ用に構成された重畳された光ビームを発生させる分散システムと、入力平面に配置された収束マイクロレンズのアレーとを備え、各入力ファイバに1つのマイクロレンズが対応しており、前記マイクロレンズのアレーが前記入力ファイバアレーと等しいピッチを有し、それぞれコリメーションレンズに向けられた平行な中心軸を有する発散ビームを発生させ、このコリメーションレンズがコリメートされた平行なビームを発生させて、これらのビームの中心軸がそれぞれ前記分散システム上に収束することを特徴とする光ファイバ波長マルチプレクシングデバイスに関する。

【0013】本発明によれば、デマルチプレクシングデバイスを製造することも可能である。図1および2を参照して上記に説明した従来技術のデバイスは、デマルチプレクサとして逆方向に動作することもできる。その場合ファイバ6は各種波長の光ビームを伝搬する入力ファイバであり、従ってファイバ1〜5が出力ファイバとなり、それぞれ、所定の波長のビームを、その他の波長で出力

されるビームから空間的に分離された状態で受ける。従って本発明は主にマルチプレクサとして具体化されたものについて説明するが、そのようなデマルチプレクサについても適用可能である。

【0014】その場合本発明のデバイスは、各種波長 $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$ の光ビームを伝搬するように構成された出力ファイバーアレーと、上記光ビームのセット全体を伝搬するように構成された入力ファイバと、端面で入力ファイバからの光ビームを受けて出力平面で前記出力ファイバ用に構成された空間的に分離された光ビームを発生させる分散システムとを備え、収束マイクロレンズアレーが前記出力平面に配置されており、各出力ファイバに1つのマイクロレンズが対応するファイバー波長デマルチプレクサである。本発明によれば、コリメーションレンズが、それぞれの中心軸が分散システムから発散するコリメートされた平行なビームを受けて、それぞれの中心軸が平行であって出力ファイバーアレーと等しいピッチを有するマイクロレンズアレーに向けられたビームを発生させる。

#### 【0015】

【発明の実施の形態】それぞれが特定の利点を提供する本発明の各種実施例によれば、本発明のデバイスは下記特徴を具体化するものである：コリメーションレンズがマイクロレンズアレーおよび分散システムの双方から同じ距離に配置され、この距離はその焦点距離に等しい；グレーティングとファイバとの間に反射プリズムが配置される；分散システムが回折格子を備える；回折格子がリトロー構造で用いられる；回折格子がリトマン・メトカルフ構造で用いられる；分散システムの後に二面反射体の再帰反射体が配置される；光ファイバはコアが約10 $\mu\text{m}$ 、クラッドが約125 $\mu\text{m}$ 、被覆が約250 $\mu\text{m}$ を示し、レンズは焦点距離が約700 $\mu\text{m}$ で直径が約250 $\mu\text{m}$ である；マイクロレンズは屈折率勾配を有するマイクロレンズアレーを用いて製造される；波長はエルビウムの増幅範囲内、つまり1530~1565nmである；対応する基本透過帯域を平準化するために各チャネル上にフィルターが配置される；チャネルの重畳領域にファブリ・ペローフィルターが配置され、全ての基本透過帯域を同時に平準化する。以下、添付した図面を参照しながら、本発明を詳細に説明する。

#### 【0016】

【実施例】本発明によるデバイスの動作を、図3および図4に具体的に示す。図3は、マルチプレクサを示す。入力ファイバ101~105の末端は、終端面206上に位置している。このマルチプレクサは、リトロー構造の分散要素又はグレーティング107、およびコリメーションレンズ又は光学素子108を備える。このマルチプレクサは、出力ファイバ161によって集められる出力ビーム110を発生させる。マルチプレクサの光学素子、つまりグレーティング107およびコリメーションレンズ又は光学素子108

は、入力平面106で空間的に分離された入力ビームが出力ポイント162において重畳され、出力ファイバ161で組み合わせられるように配置される。概略的に示される光線は、入力ファイバ102および105と出力ファイバ161との間の光路を示し、対応するビームはそれぞれ波長 $\lambda_1$ および $\lambda_5$ を有する。

【0017】図4は部分拡大図であり、各ファイバ101~105と、それらの光学コア111、121、131、141、151、それらのクラッド112、122、132、142、152およびそれらの被覆113、123、133、143、153が示されている。ファイバの末端は軸x1で表される終端面206にある。軸xで表される入力平面106には、入力および出力ファイバと同数のマイクロレンズ163、171、172、174、175が配置され、ファイバの各末端162および181~185は、それぞれ対応するマイクロレンズ163および171~175の焦点の位置にある。各マイクロレンズ163、171、 $\dots$ 、175の光軸(196、191 $\dots$ 195)は、対応するファイバー末端の光軸と同一である。従ってマイクロレンズ163、171 $\dots$ 、175は、ファイバー末端162、181、 $\dots$ 、185のアレーと等しいピッチを有するマイクロレンズアレーを構成する。各ファイバーの末端162、181、 $\dots$ 、185から対応するマイクロレンズ163、171 $\dots$ 、175までの距離は、マイクロレンズの焦点距離にほぼ等しいのが有利である。

【0018】マイクロレンズ163、 $\dots$ 174、175からコリメーションレンズ108までの距離、およびこのコリメーションレンズ108からレフレクタシステム109までの距離は同一で、コリメーションレンズ108の焦点距離fに等しい。隣接する2つの入力マイクロレンズ171~175の軸の間隔は、隣接するファイバ101~105の軸の間隔に等しい。実際には、この間隔を被覆113、123、133、143、153の直径よりも大きくすることができ、興味深い。これにより、ファイバー末端の被覆が除去されていても残されていても、その末端を湾曲させることなく単純に配置することが可能になる。

【0019】その結果、ファイバー101、 $\dots$ 、105のいずれかを出射してマイクロレンズ171、 $\dots$ 、175によって集められたビームは、コリメーションレンズ108により、レフレクタシステムの同一領域に向けられ、該領域において重ね合わされる。反射されて戻るときには、それらは同一のファイバ161に向かって組み合わせられる。

【0020】ファイバの末端181 $\dots$ 、185からマイクロレンズ171 $\dots$ 、175への光ビームは発散ビームであり、それらの中心軸は平行である。モード幅は波長の約10倍であることから、回折によるビームの発散度は1/10ラジアンである。マイクロレンズとコリメーションレンズ108の間では、それらは依然としてわずかに発散するビームであり、それぞれの中心軸は互いに平行である。つまりビーム波の幅は約100波長であり、従って発散度は1/100ラジアンである。コリメーションレンズ108と分散システム107の間では、それらはコリメートされた平行な

ビームであり、それぞれの中心軸は分散システム107上で収束している。つまりビームウエストの幅は約1,000波長であって、対応する発散度 $1/1,000$ ラジアンは無視することができる。

【0021】この構成では、このグレーティング107からコリメーションレンズ108までの距離がマイクロレンズ163、171…、175とレンズ108との間の距離に等しく、その双方が $f$ 、つまりコリメーションレンズ108の焦点距離と等しい時にグレーティング107上でのビームの重畳が最適に行われる。

【0022】さらに、そのようなシステムでは、入力平面が、その幾何学的寸法 $x$ においてマルチプレクサの入力関数 $f(\lambda)$ を決定し（図5に概略を示す）、一方ファイバ／マイクロレンズ集合体はそれぞれ、対応する基本透過帯域114、124、134、144および154を切り取る。

【0023】実際、分散デバイス107から見たファイバ101～105のコアの見掛けの寸法は、各マイクロレンズの対応するファイバによって照される領域の寸法である。従ってこの領域の直径はファイバの実際のモード径よりもはるかに大きく、その結果基本透過帯域 $\Delta\lambda_1$ 、 $\Delta\lambda_2$ 、 $\Delta\lambda_3$ 、 $\Delta\lambda_4$ 、 $\Delta\lambda_5$ の幅はかなり広がる。

【0024】各光ファイバ101～105のコア111、121、131、141、151の見掛けの直径に依存する各基本帯域の幅 $\Delta\lambda_1$ 、…、 $\Delta\lambda_5$ は、集光マイクロレンズを持たないファイバマルチプレクサの対応する値に関して増加し、これは、各ファイバ101～105によって供給され出力ファイバ161上で重畳されるビームの中心波長 $\lambda_1$ 、…、 $\lambda_5$ を隔てる距離 $d(\lambda_1, \lambda_2)$ を変化させることなく達成される。つまり $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ を大きくすることができる。

【0025】マイクロレンズ163および171～175は、単一の共通支持体上に作製された屈折率勾配を有する平坦なマイクロレンズにするのが有利である。そのようなレンズはNSGAMERICA, INC.によって市販されており、PML (Planar Microlens Array)と呼ばれている。従って特に満足な結果が得られ、その理由として、これらレンズの相対的配置が特に堅固且つ安定したものであり、従ってそれらレンズの全体的な調節が単純化され、さらにそれらレンズが互いに非常に類似した光学的特性を示す一方、それらレンズの製造プロセスが非常に高い再現性を保証するという事実によるものであると考えることができる。

【0026】図5は、急峻な立ち上がりを持つ関数の入力スペクトル帯域を概念的に示すもので、これは本発明の非常に簡単な説明を可能にする概念図である。これらの透過帯域の形状が実際にはガウスの曲線に非常に近いことは広く周知である。通信システムにおいて使用される光信号は、一般に、マルチプレクサの基本透過帯域 $\Delta\lambda_1$ 、…、 $\Delta\lambda_5$ に対して狭いスペクトル幅を有するレーザービームである。しかしながら、これらの波長は不安

定要因、例えば温度変化によって変動する傾向にある。本発明によって達成される基本透過帯域 $\Delta\lambda_1$ 、…、 $\Delta\lambda_5$ の拡大により、これらの変動に関する電気通信システムの寛容性を向上させることが可能となる。つまり、入力ファイバ101～105によってアドレスされるビームの波長に関係なく、各波長がそのビームを伝搬するファイバの透過帯域内に含まれるならば、上記波長はファイバ161上にアドレスされて一定の減衰と共にそれらに組み合わせられる。

10 【0027】以上マルチプレクサに関する説明を行った。操作を逆に行うことによってデマルチプレクサが得られ、処理される波長の寛容性に関してマルチプレクサに比肩する利点が与えられる。その場合ファイバ161は種々の波長で多重化されたビームを伝搬する入力ファイバとなる。デマルチプレクシング後、出力ファイバ101～105はそれぞれ特定波長に対応するビームと組み合わせられる。作用を受ける波長は1530～1565nmの帯域に渡ってエルビウムによって発生される波長とするのが有利である。光ファイバは直径 $10\mu\text{m}$ のコア、直径 $125\mu\text{m}$ のクラッドおよび直径 $250\mu\text{m}$ の被覆を有するのが有利である。光ファイバの末端は、V字型の溝を切ったシリコン基板上に互いに配置されるのが好ましく、従って各溝は正確に配置されたファイバを収容する。それらはファイバアレーを構成する。マイクロレンズ163、171～175は焦点距離約 $500\mu\text{m}$ ～ $1\text{mm}$ で直径 $250\mu\text{m}$ とするのが有利である。それらはマイクロレンズアレーを構成する。

20 【0028】これらのマイクロレンズ163および171～175はそれ自体正確且つ規則正しい安定な寸法を有し、従ってこれらマイクロレンズおよび溝内に配置されたファイバの末端を容易に整列させることができる。以前に述べたように、マイクロレンズアレーとファイバ末端のアレーとは同じピッチを有し、従って該ピッチを標準的な値に設定してそれらの部品をより簡単に入手すること、さらにピッチの品質並びにファイバ間隔およびマイクロレンズ間隔の規則性を正確に制御することを可能にすることができる。この共通ピッチは $250\mu\text{m}$ とするのが有利である。これらのマイクロレンズ163、171～175は、屈折率勾配を有する平坦なマイクロレンズアレーとして作製されるのが有利である。

30 【0029】以上、グレーティングのリトロー構造について説明した。しかし、リトマンメトカルフ構造を用いることも可能である。リトマンメトカルフ構造は図6に示されており、図6では図3と同じ部品については共通の参照番号を使用を使用した。そのようなリトマンメトカルフ構造では、グレーティング107から光ビームを受けてそれらを再びグレーティングへと導くレフレクタシステム109が与えられる。

40 【0030】レフレクタシステム109は調節要素であり、その向きによって光ビームを基本透過帯域について

対象とされている波長に対してセンタリングすることが可能となる。レフレクタシステム109は、垂直な2つの平坦な鏡で構成されてその端縁部分がグレーティングのラインに対して垂直である二面体とするのが有利である

(図6の平面は分散平面であってそれ自体グレーティングのラインに対して垂直であり、従って二面体の端縁部に対して平行である)。このようなレフレクタシステム109を使用すると、光ビームはグレーティング107によって二倍分散され、出力および入力平面が重ね合わされる。ある特定の用途においては、レフレクタシステム109を、回折された光ビームを出力ファイバ(末端が焦点に配置されている)上で収束させる光学システムで置き換えることができる。

【0031】このリトマン・メトカルフ構造では、レフレクタ109のコリメーションレンズ108への光学距離がマイクロレンズ163、171、…、175とコリメーションレンズ108との間の距離に等しく、その双方がf、つまりコリメーションレンズ108の焦点レンズに等しい時に、ビームが最適に重ね合わされる。

【0032】ファイバの末端181、182、…、185間の距離が等しい場合(実際それによって種々の空間を決定するよりもはるかに単純な具体例が構成される)、波長間の距離 $d(\lambda_1, \lambda_2)$ 、…、 $d(\lambda_4, \lambda_5)$ はグレーティング7の分散法則によって完全に線型にはならない。この非線型性はマイクロレンズアレーとグレーティングとの間に反射プリズム200(図7)を配置することによって補償することができる。このプリズム200は、屈折の法則に従って光ビームの角度の偏りを発生させる。これらの法則もまた線型ではないが、この非線型性がグレーティング107の分散法則によって導入される非線型性に対して反対の方向に設定されることから、合計の非線型性はゼロになる。これは周波数の非直線性を抑制するためにも設定することができる(波長の逆数)。

【0033】グレーティング107によって導入される可能性のあるもう一つの悪影響は、偏光に関する依存性である。必要な伝達出力の取り扱いのためにこの依存性の解消を余儀なくされた場合、偏光スプリッタ201を導入し、その下流で、マイクロレンズアレーとグレーティング107との間のビームのいずれかの上に1/2波長板202を導入することができ、従ってレフレクタ109はグレーティング107ラインに対して垂直な端縁部を有する二面体となる。このことは図7、8および9に表される。

【0034】偏光スプリッタ201は、入射ビーム210を平行な第1および第2の二次ビームへと分割し、この際、光は直交する方向に沿ってリニアに偏光される。1/2波長板202は第1の二次ビーム211の光路上に配置される。第1の二次ビーム211は、その偏光方向がグレーティング107のラインに対して平行であり、一方第2の二次ビーム212は偏光方向がこれらのラインに対して垂直である。プレート202は第1の二次ビーム211の平行偏光を回転させて

これを垂直偏光とする。このようにして得られる第1の二次ビーム211および第2の二次ビーム212はいずれも、リニア偏光を有するグレーティング107をラインに対して垂直にする。つまりこの垂直偏光を使用した場合、グレーティング107上の回折によって発生する損失が軽減されるために多くのエネルギーが節約される。

【0035】図8に示すように、偏光スプリッタ201の前にコリメーションレンズ108を配置することができるが、コリメーションレンズは図9のようにこの偏光スプリッタの後に配置することも可能である。この後者の場合、レフレクタ109は単なるミラーである。

【0036】各基本透過帯域704をさらに四角形に近付けるために、各基本透過帯域に作用する追加のフィルタを配置することができる。追加のフィルタリングは透過帯域と同じ波長 $\lambda_i$ 上にセンタリングされ、そのピークをわずかに減衰させる。従って透過帯域は平坦になる。このフィルタリングは各波長について個々に行うことができる。マルチプレクサの場合、その後各チャネル上の各入力ファイバとマルチプレクサとの間に波長フィルタを配置する。このフィルタリングは、減衰ピークがマルチプレクサの基本帯域の中心波長のピークとマッチするような方法で決定される単一のフィルタ、例えば選択性の低いファブリ・ペローフィルタ(またはフィゾーフィルタ)によって行うこともできる。フィゾーフィルタは、その応答が周波数において周期的であり、DWDシステムにおいて用いられる通常のチャネル空間もまた周波数において周期的であることから、特に興味深い。この単一のフィルタは、チャネルの重畳領域、それらの波長に関係なくグレーティング107とミラー109との間のマルチプレクサのキャビティ内または光ビームの重畳領域内に配置されるか、あるいは、マルチプレクサの場合には出力ファイバの正面に配置される。

【0037】図10aは、フィルタを持たないマルチプレクサの基本透過帯域701を表すもので、そのピーク704は $\lambda_i$ にセンタリングされている。図10bは、フィルタの透過帯域702を表すもので、その減衰は $\lambda_i$ にセンタリングされた705においてピークに達し、図10cは追加のフィルタを備えることによって得られる透過帯域703を表し、ここでは最大伝達領域706が平坦になっている。

【0038】以上5つの入力ファイバを示した図を参照して説明を行った。これは単なる例であり、本発明に従う単一の素子により、はるかに多数のファイバに対応する数のマルチプレクシング又はデマルチプレクシングされた波長と共に使用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術によるマルチプレクサの光学的概念図である。

【図2】図1のマルチプレクサの入力機能を示す入力ファイバの概念的断面図である。

【図3】本発明の第1の実施例を表す。

11

12

【図4】図3の部分拡大図である。

【図5】図3のマルチプレクサの入力機能を示す入力ファイバの概念的断面図である。

【図6】本発明の第2の実施例を示す。

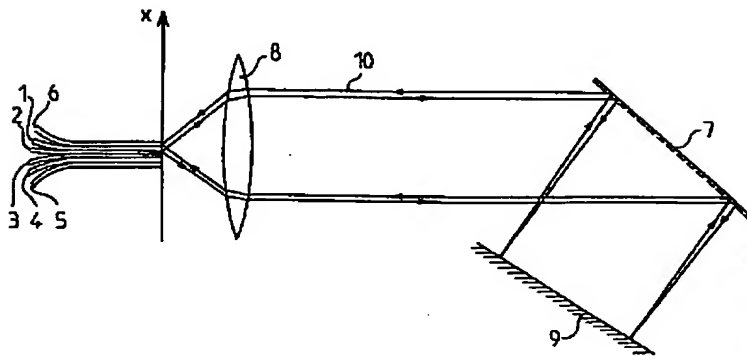
【図7】反射プリズムを備えた本発明の改良実施例によるデバイスを示した光学的平面図。

【図8】偏光スプリッタを備えた本発明の第1の改良実施例によるデバイスを示した光学的側面図。

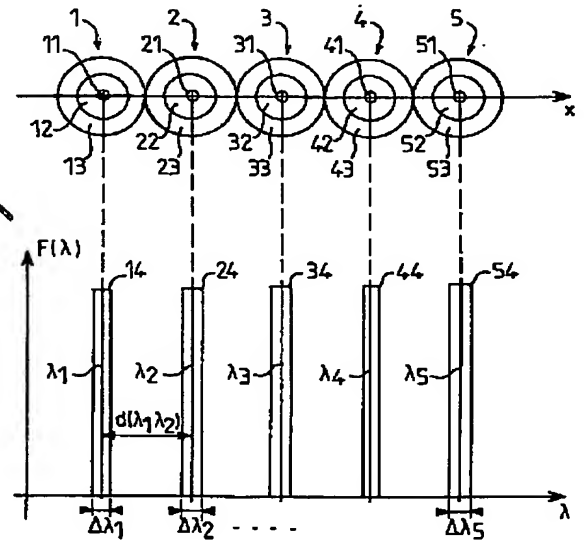
【図9】偏光スプリッタを備えた本発明の第2の改良実施例によるデバイスを示した光学的側面図。

【図10】減衰フィルタの付加的効果を示す。

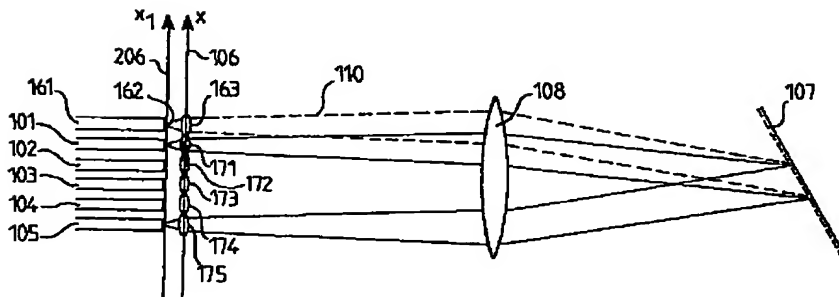
【図1】



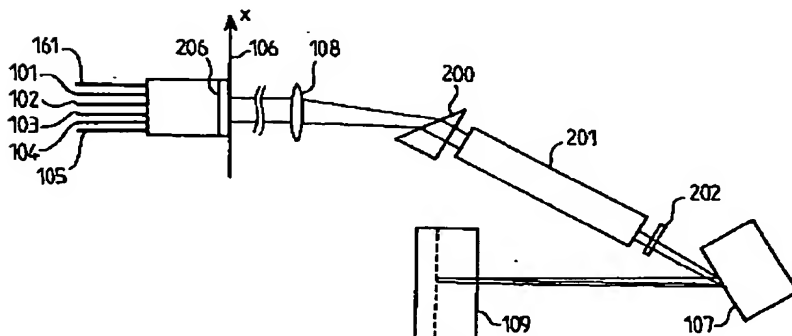
【図2】



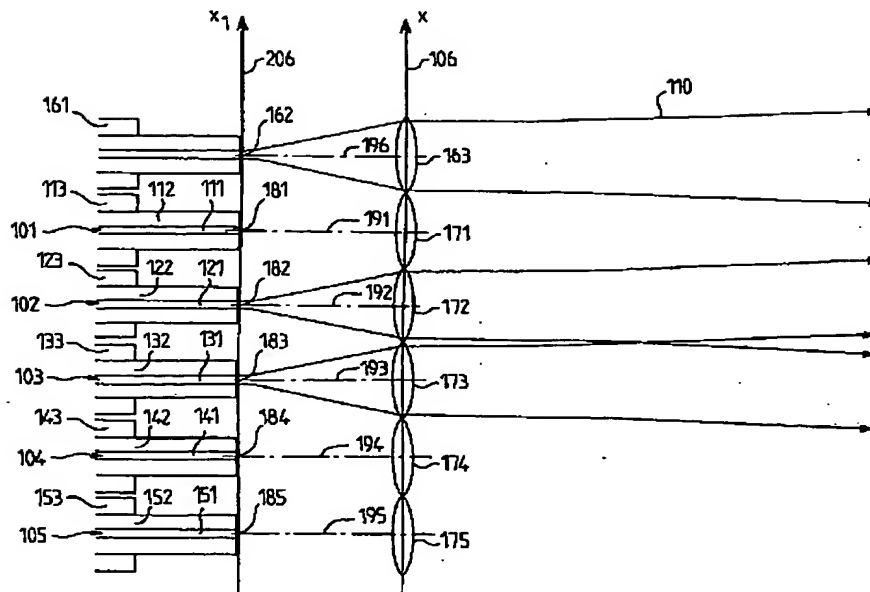
【図3】



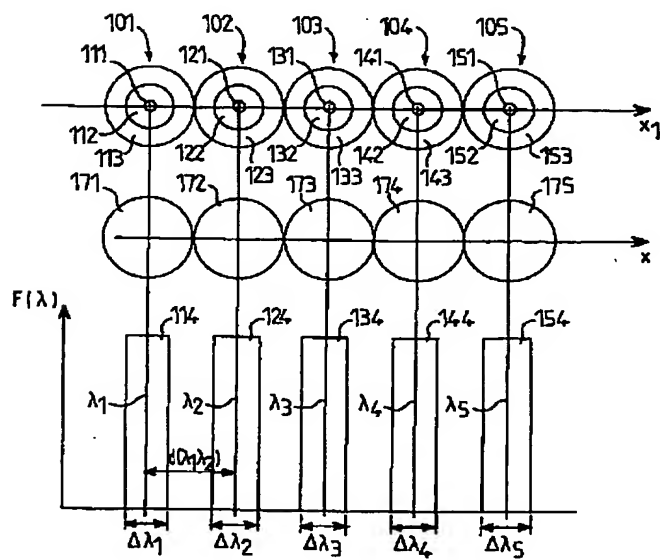
【図7】



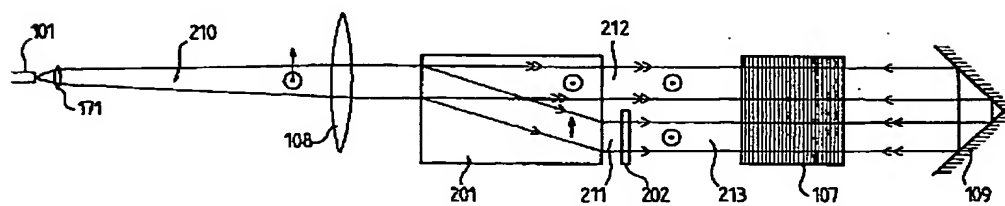
【図4】



【図5】

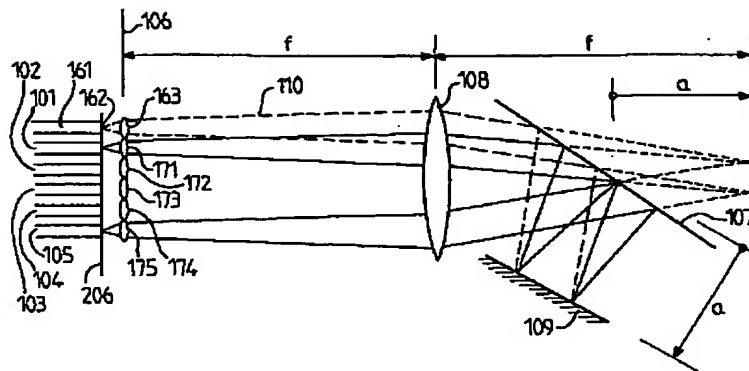


【図8】

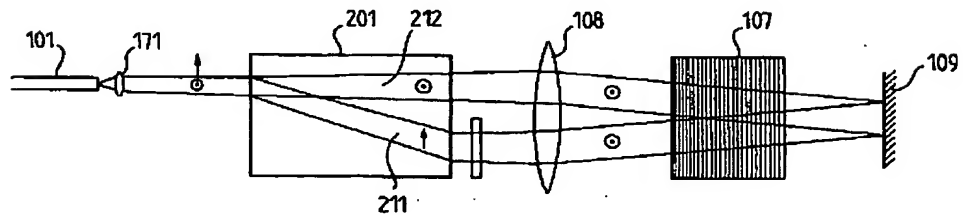




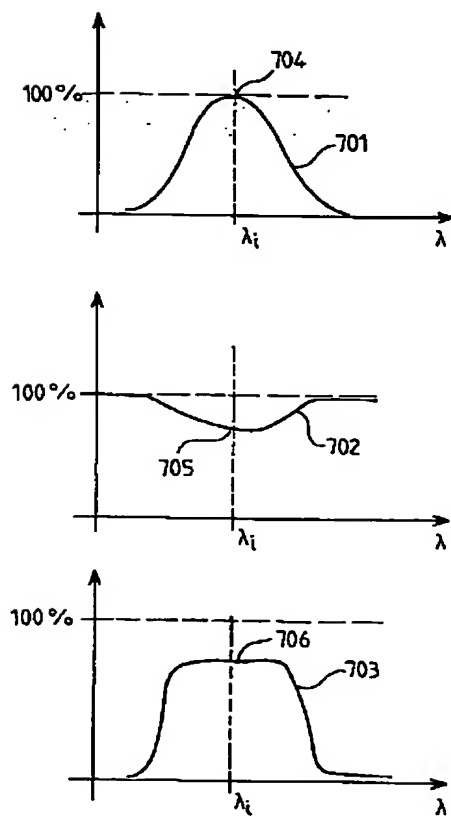
【図6】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

H04J 14/02

F I

H04B 9/00

E

(72) 発明者 ベルトラン メリゴ  
フランス国 75017 パリ リュ ドウ  
ルヴィ 51

(72) 発明者 エルヴェ ルフェーブル  
フランス国 75014 パリ リュ オリヴ  
イエ ノワイユ 5-15

## 【外国語明細書】

## 1. Title of Invention

Optical fiber wavelength multiplexer and demultiplexer

## 2. Claims

1. An optical fiber wavelength multiplexing device comprising :  
an array of input fibers (101 to 105) designed for carrying light beams at different wavelengths ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ),  
an output fiber (161) designed for carrying the whole set of such light beams,  
a dispersing system (107) receiving light beams from the input fibers (101 to 105) in an end plane and generating superimposed light beams designed for the output fiber (161) in an output plane,  
an array of converging microlenses (171 to 175) being located in the input plane, whereas a microlens corresponds to each input fiber, wherein the microlens array has the same pitch as the input fiber array and produces diverging beams whose respective central axes are parallel and which are directed to a collimating lens (108) which produces parallel collimated beams whose respective central axes are converging on the dispersing system.
2. An optical fiber wavelength demultiplexing device comprising :  
an array of output fibers designed for carrying light beams at different wavelengths ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ),  
an input fiber designed for carrying the whole set of such light beams,  
a dispersing system receiving the light beam from the input fiber in an end plane and generating spatially separate light beams designed for the output fiber in an output plane,  
an array converging microlens located in the output plane, whereas a microlens corresponds to each output fiber, wherein a collimating lens (108) receives parallel collimated beams whose respective central axes are diverging from the dispersing system and produces converging beams whose respective central axes are parallel and directed to the microlens array which has the same pitch as the output fiber array.

3. A device according to any of claims 1 and 2, characterized in that the collimating lens (108) is placed at the same distance from the microlens array and from the dispersing system, and that this distance is equal to its focal length.

4. A device according to any of the claims 1 to 3, characterized in that it contains a refracting prism (200) located between the dispersing system and the fiber array.

5. A device according to any of the claims 1 to 4, characterized in that the dispersing system (107) comprises a diffraction grating.

6. A device according to claim 5, characterized in that the diffraction grating (107) is used in a Littrow configuration.

7. A device according to claim 5, characterized in that the diffraction grating (107) is used in a Littman-Metcalf configuration.

8. A device according to any of the claims 1 to 7 characterized in that it comprises a polarization splitter (201) between the microlens array and the grating.

9. A device according to any of the claims 1 to 8, characterized in that it comprises a retroreflecting dihedron located after the grating (107).

10. A device according to any of the claims 1 to 9, characterized in that the optical fibers (161, 101 à 105) exhibit advantageously a core of approx. 10  $\mu\text{m}$ , a cladding of approx. 125  $\mu\text{m}$  and a coating of approx. 250  $\mu\text{m}$ , and the lenses (163, 171 to 175) have a focal length of approx. 700  $\mu\text{m}$  and a diameter of 250  $\mu\text{m}$  approx.

11. A device according to any of the claims 1 to 10, characterized in that the array of lenses (163, 171 to 175) uses index gradient lenses.

12. A device according to any of the claims 1 to 11, characterized in that the wavelengths ( $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ ) lie within the amplification range of erbium, between 1530 and 1565 nm.

13. A device according to any of the claims 1 to 12, characterized in that it contains a filter on each channel, in order to flatten the associated elementary passband.

14. A device according to any of the claims 1 to 13, characterized in that it contains a Fabry-Perot filter located in a superimposition zone of the channels and flattening all the elementary passbands.

### 3. Detailed Description of Invention

This invention relates to optical fiber wavelength multiplexers and demultiplexers.

These devices become more and more important with the development of optical fiber telecommunications. Indeed, wavelength multiplexing and demultiplexing technologies enable transmission of an increased volume of information in the same optical fiber. Direct optical amplification is now reliable and allows one to amplify a set of channels, at different wavelengths, with a single optical amplifier. It does not require any more to demultiplex the channel wavelengths for amplifying them separately, as it would be the case with electronic amplifiers. Such dense wavelength division multiplexing (D-WDM) is particularly efficient in the 1530 nm-1565 nm window of erbium-doped-fiber amplifier (EDFA).

The operation of a device according to the previous art is illustrated on figures 1 and 2. Figure 1 represents a multiplexer. Input fibers 1 to 5 have their ends located on a plane 6 constituting the input plane of the multiplexer. This multiplexer comprises a dispersing element or grating 7, a collimation optical element 8, a reflector system 9 and produces an output beam 10 collected by an output fiber 61. The optical elements of the multiplexer, the grating 7 and the collimation optical elements 8 as well as the reflector optical system 9 are laid out in such a way that the input beams, spatially separate in the input plane 6, are superimposed at the output point 62 and coupled in the output fiber 61. This arrangement with a grating and a reflector is usually called the Littman-Metcalf configuration.

On Figure 2, each of the input fibers 1 to 5 ends has been represented, together with their optical cores 11, 21, 31, 41, 51, their claddings 12, 22, 32, 42, 52 and their coatings 13, 23, 33, 43, 53. In such a system, the input plane 6 defines, in its geometrical dimension  $x$ , the input function  $F(\lambda)$  of the multiplexer, represented approximately on figure 2, each of the fibers cutting through an associated elementary passband 14, 24, 34, 44 and 54.

The widths  $\Delta\lambda_1, \dots, \Delta\lambda_5$  of each of these elementary bands depend on the diameters of the cores 11, 21, 31, 41, 51 of each optical fiber 1 to 5 and are generally small in relation to the distance  $d(\lambda_1, \lambda_2), \dots, d(\lambda_4, \lambda_5)$  separating the central wavelengths  $\lambda_1, \dots, \lambda_5$  from the elementary bands,

consecutive to the beams provided by each input fiber 1 to 5 and superimposed on the output fiber 61.

We shall designate later on by  $\Delta\lambda$  the width of the elementary bands  $\Delta\lambda_1, \dots, \Delta\lambda_n$  and by  $d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  the distance between the central wavelengths of two consecutive elementary bands.

Various propositions have already been made in order to increase the  $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  ratio. We know that this  $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  ratio =  $\alpha/\delta$ , where  $\alpha$  corresponds to the diameter of the transmitted mode, which is substantially equal to the core diameter of the fiber and where  $\delta$  is the distance between two cores of consecutive fibers. In practice, when the coating is removed, this  $\delta$  distance is at least equal to the diameter of the cladding.

It has been suggested to reduce the thickness of the claddings 12, 22, 32, 42, 52, which enables reducing  $\delta$  and hence the distance  $d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  without reducing the widths of the bands  $\Delta\lambda$ . However, this lay-out is difficult to control and to implement.

Several other attempts have been made for improving the  $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  ratio. UK patent application N° 2.219.869 proposes to provide the multiplexer with waveguide having a tapered optical field spot size achieved, either by physically tapering the fibers, or by changing the core index at their ends by diffusion. This also is difficult to control and to implement.

D. R. Wisely in an article published in Electronics Letters (14<sup>th</sup> March 1991, vol. 27, N° 6) proposed to place a microlens array at the end of the fibers. Such an array enhances the relative bandwidth ratio and directs the light beams directly to the diffraction grating. To have these beams illuminating a common area on the grating, each of the microlenses has to be offset relatively to the core of the associated fiber; the amplitude of this offset depends on the position of the fiber which is possible using a microlens array having a pitch smaller than the pitch of the fiber ends and carefully controlled. In practice, this requires the microlens array to be manufactured to this particular use and the accurate relation between the pitch of the fiber ends and the pitch of the microlens array is difficult to obtain.

The purpose of the invention is to suggest an optical fiber wavelength optical multiplexer-demultiplexer which exhibits a significant improvement of the  $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$  ratio, is easy to manufacture and can be realized with standard components easy to obtain.

It is another purpose of the invention to construct such multiplexing-demultiplexing device in which the elementary passband associated to each fiber is widened and shows front edges towards low frequencies and towards high frequencies which are as steep as possible and in which each transmitted wavelength undergoes the same attenuation. Such an elementary transfer function, ideally rectangular in shape, enables to obtain accurate delimitation of the passband and uniform transmission within this band.

To this end, the invention relates to an optical fiber wavelength multiplexing device comprising :

- an array of input fibers designed for carrying light beams at different wavelengths  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ,

- an output fiber designed for carrying the whole set of such light beams,

- a dispersing system receiving light beams from the input fibers in an input plane and generating superimposed light beams designed for the output fiber in an output plane,

- an array of converging microlens being located in the input plane, whereas a microlens corresponds to each input fiber, wherein the microlens array has the same pitch as the input fiber array and produces diverging beams whose respective central axes are parallel and which are directed to a collimating lens which produces parallel collimated beams whose respective central axes are converging on the dispersing system.

According to the invention, it is also possible to construct a demultiplexing device. The device according to the previous art described above with reference to figures 1 and 2 can also operate in reverse direction, as a demultiplexer. The fiber 6 is then an input fiber carrying a light beam at various wavelengths and the fibers 1 to 5 become thus output fibers, each receiving a beam at a given wavelength, separated spatially from the beams coming out at the other wavelengths. Thus, although it will be mainly described embodied as a multiplexer, the invention can also be applied to such a demultiplexer.

The device according to the invention is then a fiber wavelength demultiplexer comprising an output fiber array designed for carrying light beams at different wavelengths  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ , an input fiber designed for carrying the whole set of such light beams, a dispersing system receiving the light beam from the input fiber in an end plane and generating spatially separate light beams designed for the output fibers in an output plane,

a converging microlens array is located in the output plane, whereas a microlens corresponds to each output fiber.

According to the invention, a collimating lens receives parallel collimated beams whose respective central axes are diverging from the dispersing system and produces converging beams whose respective central axes are parallel and directed to the microlens array which has the same pitch as the output fiber array.

According to various embodiments each providing its particular advantages, the device of the invention embodies the following features :

- the collimating lens is placed at the same distance from both the microlens array and the dispersing system ; this distance being equal to its focal length ;

- a refracting prism is located between the grating and the fibers ;
- the dispersing system comprises a diffraction grating ;
- the diffraction grating is used in a Littrow configuration ;
- the diffraction grating is used in a Littman-Metcalf configuration ;
- a retroreflecting dihedral is located after the dispersing system ;
- the optical fibers exhibit advantageously a core of approximately 10  $\mu\text{m}$ , a cladding of approximately 125  $\mu\text{m}$  and a coating of approximately 250  $\mu\text{m}$ , and the lenses have a focal length of approximately 700  $\mu\text{m}$  and a diameter of 250  $\mu\text{m}$  approximately ;

- the microlenses are made with a microlens array with index gradient ;

- the wavelengths are within the amplification range of erbium, between 1530 and 1565 nm ;

- a filter is located on each channel, in order to flatten the associated elementary passbands ;

- a Fabry-Perot filter is located in a superimposition zone of the channels and flattens all the elementary passbands at the same time.

The invention will be described in detail with reference to the appended drawings.



The operation of the device according to the invention is thus illustrated by figures 3 and 4. Figure 3 represents a multiplexer. Input fibers 101 to 105 have their ends located on an end plane 206. This multiplexer comprises a dispersing element or grating 107 in a Littrow configuration and a collimating lens or optical element 108. It produces an output beam 110 collected by an output fiber 161. The optical elements of the multiplexer, the grating 107 and the collimating lens or optical element 108 are laid out in such a way that the input beams, spatially separated in the input plane 106, are superimposed at the output point 162 and coupled in the output fiber 161. The light rays represented approximately show the light path between the input fibers 102 and 105 and the output fiber 161; whereas the corresponding beams has respectively a wavelength  $\lambda_1$  and  $\lambda_5$ .

Figure 4 is an enlarged partial view, each of the fibers 101 to 105 has been represented with their optical cores 111, 121, 131, 141, 151, their claddings 112, 122, 132, 142, 152 and their coatings 113, 123, 133, 143, 153. The ends of the fibers are in an end plane 206 represented by the axis  $x_1$ . In the input plane 106 represented by the axis  $x$ , are placed microlenses 163, 171, 172, 174, 175 equal in number to the input and output fibers, whereas each end 162 and 181 to 185 of the fibers lies at the focal point of the corresponding microlens 163 and 171 to 175. The optical axis (196, 191...195) of each microlens 163, 171..., 175 is the same as the optical axis of the corresponding fiber end. The microlenses 163, 171..., 175 thus form a microlens array that had the same pitch as the fibers ends 162, 181..., 185 array. The distance between each of the fibers ends 162, 181..., 185 to the corresponding microlenses 163, 171..., 175 is advantageously approximately equal to the focal length of the microlenses.

The distances between the microlenses 163... 174, 175 and the collimating lens 108 on one hand and the distance between this collimating lens 108 and the reflector system 109 are identical and equal to the focal length  $f$  of the collimating lens 108. The spacing between the axes of two consecutive input microlenses 171 to 175 is equal to the spacing between the axes of two consecutive fibers 101 to 105. In practice, it is interesting and possible that this spacing is greater than the diameter of the coatings 113, 123, 133, 143, 153. This enables simple positioning of the ends of the fibers, without curving, whether the coating at the end is removed or maintained.

As a result, the beams emerging from any of the fibers 101..., 105 collected by the microlenses 171..., 175 are directed by the collimating lens 108 to the same area of the reflector system 109 where they are superposed. On the way back, after reflection, they are coupled to the same fiber 161.

The light beams between the fiber ends 181..., 185 and the microlenses 171..., 175 are diverging and their central axes are parallel. Since the mode-width is about 10 wavelengths, the divergence of the beams, due to the diffraction are  $1/10$  rd. Between the microlenses and the collimating lens 108, they are still slightly diverging beams and their respective central axes are parallel one to another; the beam wave has a width of about 100 wavelengths so that the divergence is  $1/100$  rd. Between the collimating lens 108 and the dispersing system 107, they are parallel collimated beams and their respective central axes are converging on the dispersing system 107; the beam waist has a width of about 1.000 wavelengths and the corresponding divergence of  $1/1.000$  rd can be neglected.

In this configuration, the best superposition of the beams on the grating 107 is obtained when the distance from this grating 107 to the collimating lens 108 is identical to the distance between the microlenses 163, 171..., 175 and the lens 108 and both are equal to  $f$ , the focal length of the collimating lens 108.

Furthermore, in such a system, the input plane determines, in its geometrical size  $x$ , the input function  $F(\lambda)$  of the multiplexer which is represented approximately on figure 5, whereas each fiber/microlens assembly cuts through an associated elementary passband 114, 124, 134, 144 and 154.

Indeed, the apparent dimension of the core of fibers 101 to 105 as seen by the dispersion device 107 is that of the zone of each microlens lit by the associated fiber. The diameter of this zone is thus much greater than the actual mode diameter of the fiber, which leads to significant widening of the elementary bands  $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3, \Delta\lambda_4, \Delta\lambda_5$ .

The widths  $\Delta\lambda_1, \dots, \Delta\lambda_5$  of each elementary band depending on the apparent diameter of the cores 111, 121, 131, 141, 151 of each optical fiber 101 to 105 are increased with respect to the corresponding values of fiber multiplexer without collecting microlenses, and this is obtained without changing the distances  $d(\lambda_1, \lambda_2)$  separating the central wavelengths  $\lambda_1, \dots, \lambda_5$  of the beam provided by each input fiber 101 to

105 and superimposed on the output fiber 161. Thus, we obtain a larger  $\Delta\lambda/d(\lambda_i, \lambda_{i+1})$ .

The microlenses 163 and 171 to 175 are advantageously planar microlenses with index gradient, constructed on a single common substrate. Such lenses are marketed by the NSG AMERICA, INC. which calls them "Planar Microlens Array (PML)". Thus, we obtain particularly satisfactory results which we may assume as due to the fact that the relative positioning of these lenses is particularly rigid and stable, that their overall adjustment is therefore simplified and that these lenses exhibit very similar optical properties in relation to one another, whereas their manufacturing process ensures very good reproducibility.

Figure 5 shows diagrammatically the input spectral bands with steep front edge functions, which is a diagrammatic representation enabling very simple explanation of the invention. It is well-known that the shapes of these passbands are in reality quite close to gaussian curves.

The light signals used in telecommunication systems are generally laser beams whose spectral widths are narrow with respect to the elementary passbands of the multiplexer  $\Delta\lambda_1, \dots, \Delta\lambda_5$ . However, these wavelengths are liable to vary due to instabilities, for instance temperature variations. The widening of the elementary passbands  $\Delta\lambda_1, \dots, \Delta\lambda_5$  obtained according to the invention enables to improve the tolerance of the telecommunication systems in relation to these variations.

Thus, whatever the wavelengths of the beams addressed by the input fibers 101 to 105, providing each of them is comprised within the passband of the fiber which carries it, the said wavelengths are addressed on the fiber 161 and coupled to them with a constant attenuation.

So far, we have described a multiplexer. By reversing the operation, we can obtain a demultiplexer which will provide comparable advantages as regards the tolerances of the wavelengths processed. The fiber 161 thus becomes an input fiber carrying the multiplexed beam, at the various wavelengths. After demultiplexing, each of the output fibers 101 to 105 is coupled to the beam corresponding to a particular wavelength.

The wavelengths affected are advantageously those produced by the erbium over the band ranging from 1530 to 1565 nm.

The optical fibers have advantageously a core of 10  $\mu\text{m}$  diameter, a cladding of 125  $\mu\text{m}$  diameter and a coating of 250  $\mu\text{m}$  diameter.

They are advantageously positioned, at their ends, in relation to one another, on silicon substrates in which V-shaped grooves have been engraved. Each of these grooves accommodates a fiber which is thus positioned accurately. They form a fiber array. The microlenses 163, 171 to 175 have advantageously a focal distance of approx.  $500\text{ }\mu\text{m}$  -  $1\text{ mm}$  and a diameter of  $250\text{ }\mu\text{m}$ . They form a microlens array.

These microlenses 163 and 171 to 175 having themselves accurate, regular and stable dimensions, these microlenses and the ends of the fibers placed in grooves can then be easily aligned. As we have explained it previously, the microlens array and the fiber end array have the same pitch, so that it is possible to fix it to a standard value which makes it possible to get those components more easily, to precisely control the equality of the pitches and the regularity of the spacing of the fibers and of the microlenses. This common pitch is advantageously equal to  $250\text{ }\mu\text{m}$ .

These microlenses 163, 171 to 175 are advantageously constructed in the form of a planar microlens array with index gradient.

The previous description refers to a Littrow configuration of the grating. However, a Littman-Metcalf configuration is also possible. It is represented on figure 6 on which the same reference has been used to designate the same components as on figure 3. In such a Littman-Metcalf configuration, a reflector system 109 is implemented which receives the light beams from the grating 107 and redirects them back to it.

The reflector system 109 is an adjustment element whose orientation enables the centering of the light beams with respect to the wavelengths considered on the elementary passbands. The reflector system 109 is advantageously a dihedral, composed of two perpendicular planar mirrors and whose edge is perpendicular to the lines of the grating (the plane of figure 6 is the dispersion plane and it is itself perpendicular to the lines of the grating and hence parallel to the edge of the dihedral).

When using such a reflector system 109, the light beam is twice dispersed by the grating 107 and the output and input planes are superimposed. In certain particular applications, the reflector system 109 can be replaced with an optical system making the diffracted light beam converging on an output fiber whose end is placed at its focal point.

In this Littman-Metcalf configuration, the best superposition of the beams is obtained when the optical distance of the reflector 109 to the

collimating lens 108 is identical to the distance between the microlenses 163, 171..., 175 and the collimating lens 108 and when both distances are equal to  $f$ , the focal lens of the collimating lens 108.

When the spacings between the ends of fibers 181, 182, ..., 185 are equal, which in practice constitutes much simpler an embodiment than the determination of various spacings, the spacing between the wavelengths  $d(\lambda_1, \lambda_2)$ , ...,  $d(\lambda_4, \lambda_5)$  is not perfectly linear due to the dispersion law of the grating 7.

This non-linearity can be compensated for by the implementation of a refractive prism 200 (figure 7) between the microlens array and the grating. This prism 200 generates an angular deviation of the light beam according to refraction laws. These laws are also non-linear, but since this non-linearity is set in the opposite direction to that introduced by the dispersion laws of the grating 107, the total non-linearity is nulled out. This can be set also to suppress non-linearity in frequency (inverse of wavelength).

Another detrimental effect liable to be introduced by the grating 107 is a dependence in relation to polarization.

When the transmitted power handling required imposes to break free from this dependence, it is possible to introduce a polarization splitter 201 followed by a plate  $\lambda/2$  202 on one of the beams between the microlens array and the grating 107, whereby the reflector 109 is a dihedral with a edge perpendicular to the grating 107 lines. This is represented on figures 7, 8 and 9.

The polarization splitter 201 separates an incident beam 210 into a first and a second parallel secondary beams 211 and 212, with light linearly polarized along orthogonal directions. The plate  $\lambda/2$  202 is located on the path of the first secondary beam 211.

The first secondary beam 211 has its polarization direction parallel to the grating 107 lines, whereas the second secondary beam 212 has its polarization direction perpendicular to these lines. The plate 202 rotates the parallel polarization of the first secondary beam 211 in order to bring it into perpendicular polarization. The first secondary beam 211 thus obtained and the second secondary beam 212 will both drive the grating 107 with linear polarization perpendicular to the lines. Thus, a lot of energy is saved, since the losses generated by diffraction on the grating 107 are reduced when this perpendicular polarization is used.

The collimating lens 108 can be placed before the polarization splitter 201 as represented of figure 8, but it can also be placed after this polarization splitter as represented on figure 9. In this last case, the reflector 109 is a simple mirror.

In order to bring each elementary passband 704 even closer to rectangular shape, it is possible to place an additional filter, acting on each of them. The additional filtering is centered on the same wavelength  $\lambda_i$  as the passband and slightly attenuates its peak. Thus, the passband is flattened.

This filtering can be performed individually for each wavelength. In the case of a multiplexer, a wavelength filter is then interposed on each channel between each input fiber and the multiplexer.

This filtering can also be performed by a single filter, for instance a Fabry-Perot filter with low selectivity (or Fizeau filter), determined in such a way that its attenuation peaks are matched to that of the central wavelengths of the elementary bands of the multiplexer. A Fizeau filter is particularly interesting since its response is periodic in frequency, and the usual channel spacing used in DWDM systems is also periodic in frequency. This single filter can be accommodated in a superimposition region of the channels, either in the cavity of the multiplexer, in the superimposition region of the light beams, regardless of their wavelengths, between the grating 107 and the mirror 109, or in the case of the multiplexer, in front of the output fiber.

Figure 10a is a representation of an elementary passband 701 of the multiplexer without a filter, its peak 704 is centered on  $\lambda_i$ .

Figure 10b is a representation of the passband 702 of a filter, its attenuation reaches a peak at 705 centered on  $\lambda_i$  and figure 10c represents the passband 703 resulting from the implementation of the additional filter, whereas the maximum transmission region 706 is flattened.

The description has been made with reference to figures representing five input fibers. This is a simple illustrative example, whereas a much greater number of fibers can be used, with the corresponding number of multiplexed or demultiplexed wavelengths, thanks to a single device complying with the invention.

#### 4. Brief Description of Drawings

- figure 1 is a representation of the optical diagram of a multiplexer of the prior art ;
- figure 2 is a diagrammatic representation showing the input function of the multiplexer of figure 1, in relation to the cross section of the input fibers ;
- figure 3 is a representation of a first embodiment of the invention ;
- figure 4 is an enlarged view of a part of the representation of figure 3 ;
- figure 5 is a diagrammatic representation showing the input function of the multiplexer of figure 3, in relation to the cross section of the input fibers ;
- figure 6 is a representation of a second embodiment of the invention ;
- figure 7 is a top view of the optical diagram of the device according to an improved embodiment of the invention with a refractive prism ;
- figure 8 is a side view of the optical diagram of the device according to a first improved embodiment of the invention with a polarization splitter ;
- figure 9 is a side view of the optical diagram of the device according to a second improved embodiment of the invention with a polarization splitter ;
- figure 10 is a representation of the adjunction effect of attenuation filters.

FIG. 1

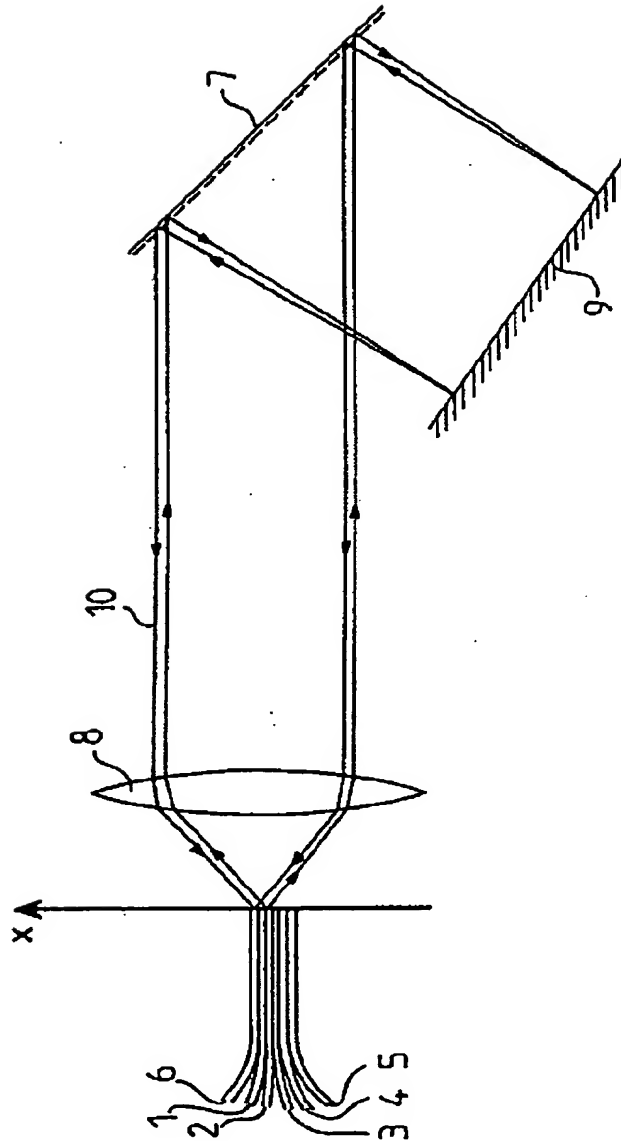




FIG. 2

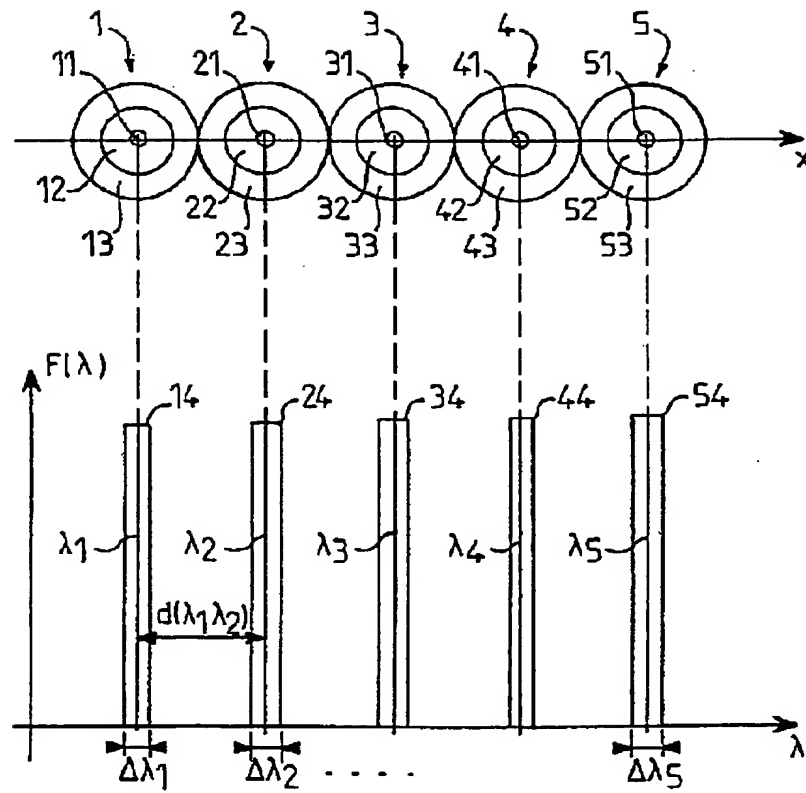


FIG. 3

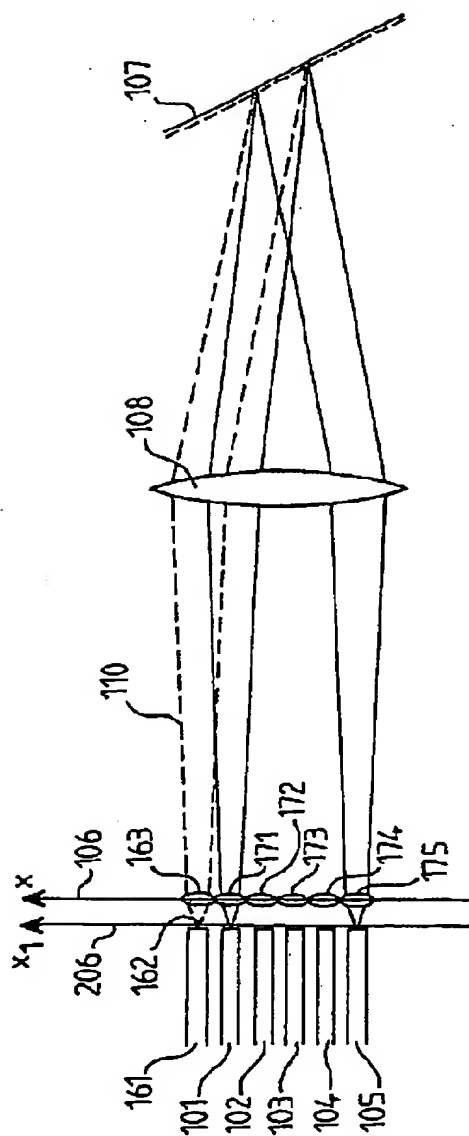


FIG. 4

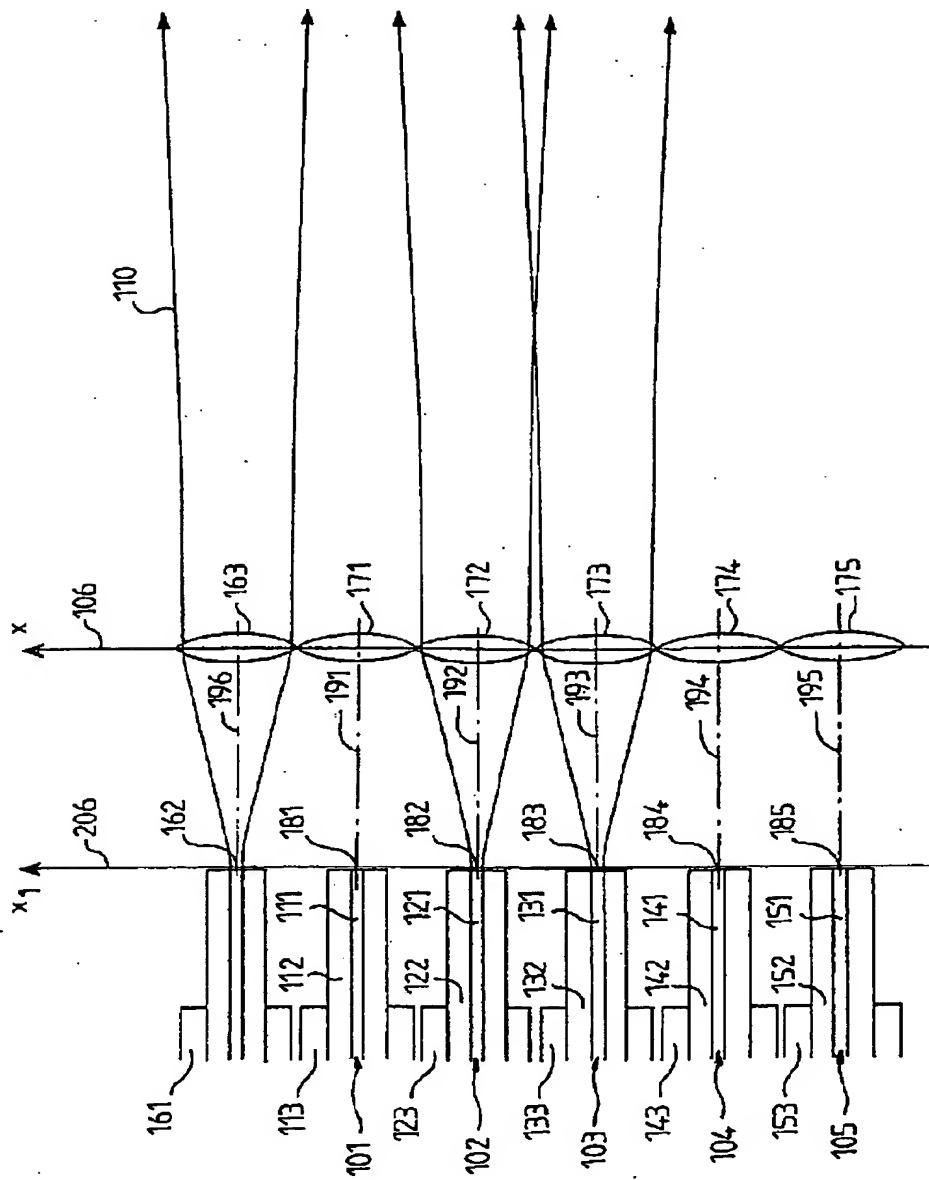


FIG. 5

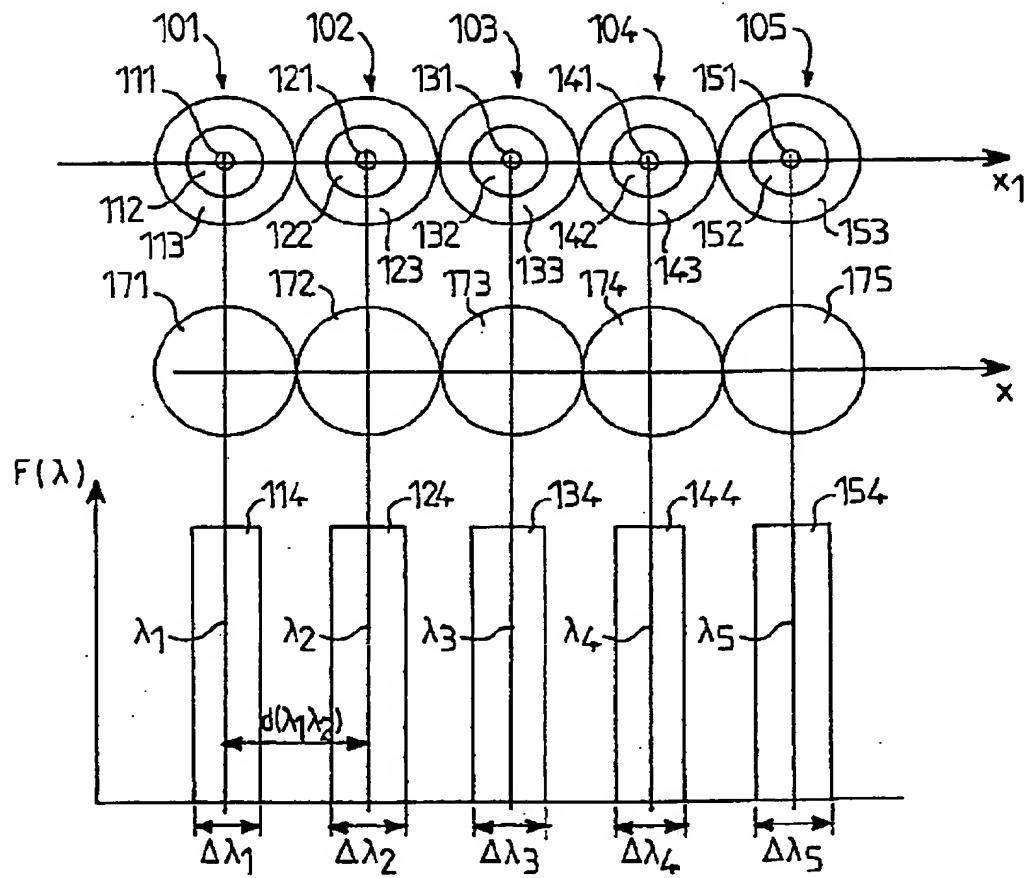




FIG. 7

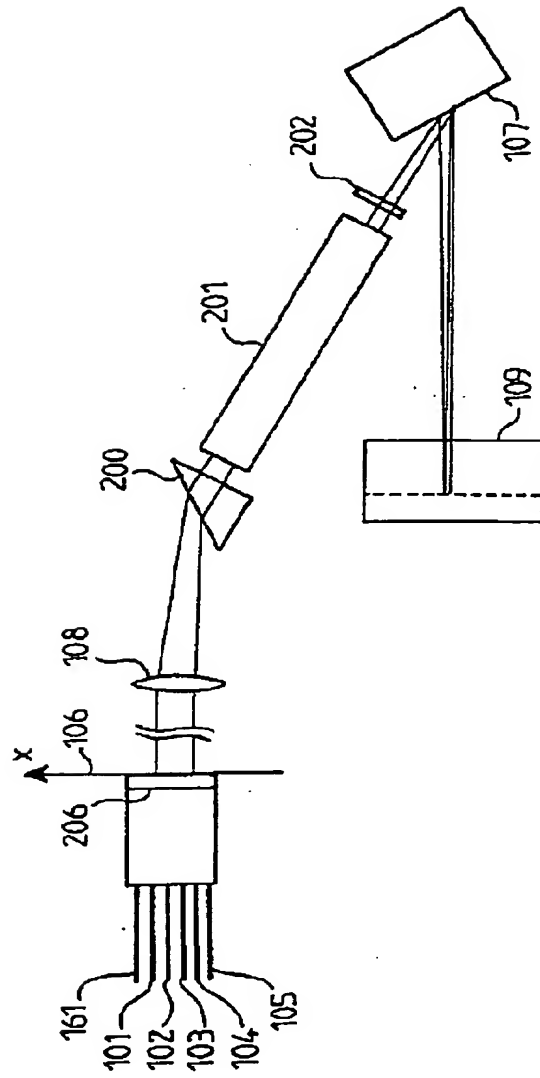


FIG. 8

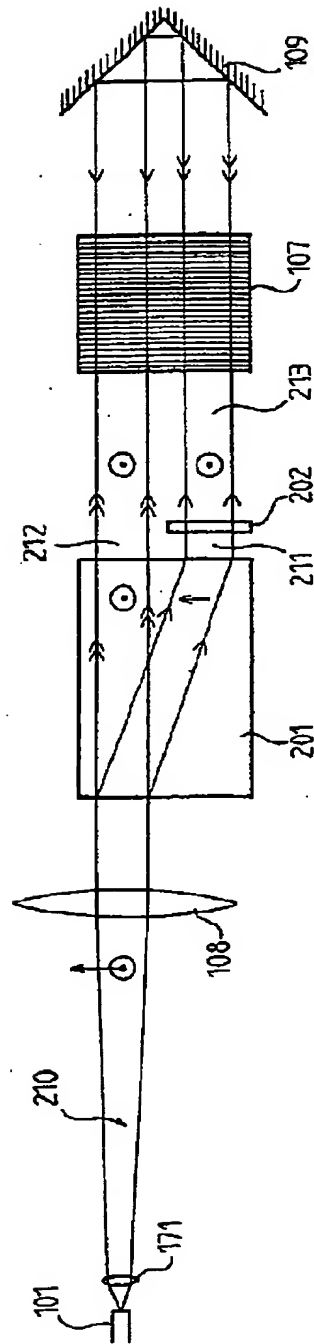


FIG. 9

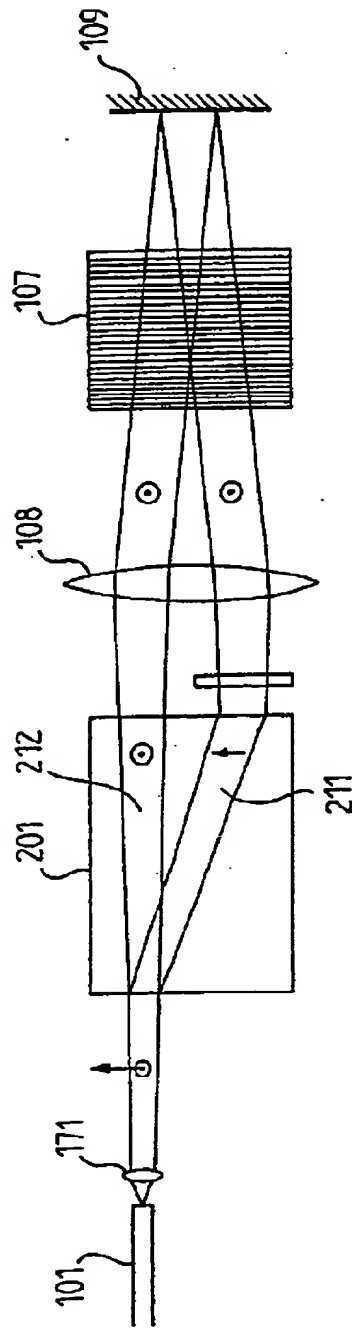
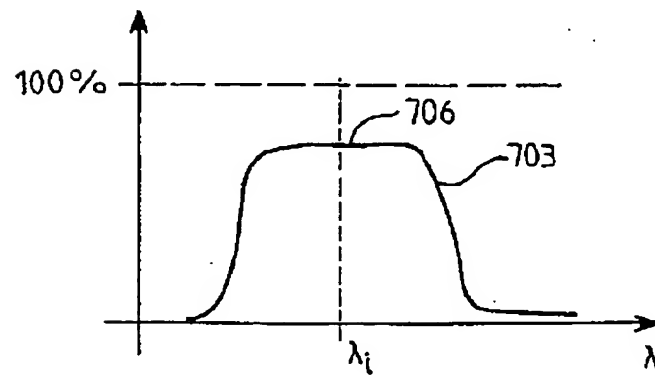
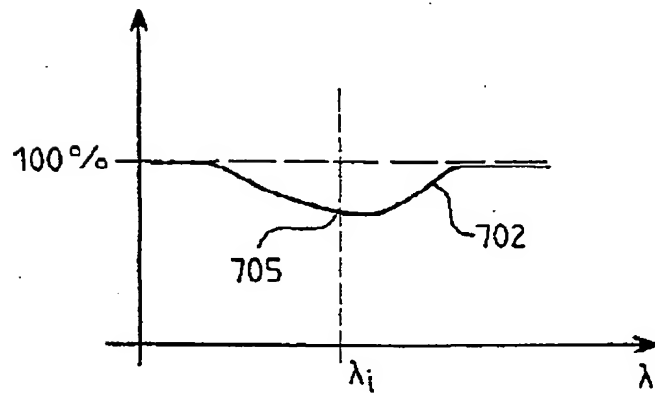
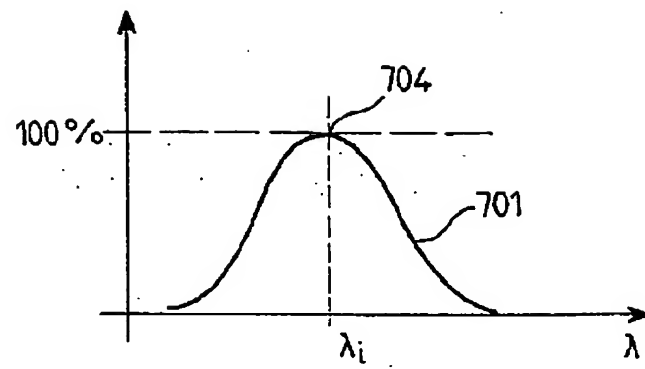




FIG. 10



## 1. Abstract

The present invention relates to an optical fiber wavelength multiplexing or demultiplexing device comprising :

An optical fiber wavelength multiplexing device comprising :

an array of input fibers (101 to 105) designed for carrying light beams at different wavelengths ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ),

an output fiber (161) designed for carrying the whole set of such light beams,

a dispersing system (107) receiving light beams from the input fibers (101 to 105) in an end plane and generating superimposed light beams designed for the output fiber (161) in an output plane,

an array of converging microlenses (171 to 175) being located in the input plane, whereas a microlens corresponds to each input fiber, wherein the microlens array has the same pitch as the input fiber array and produces diverging beams whose respective central axes are parallel and which are directed to a collimating lens (108) which produces parallel collimated beams whose respective central axes are converging on the dispersing system.

The demultiplexer comprises the same elements, whereas the roles of the fibers and input/output planes are reversed.

## 2. Representative Drawings

Figure 3